

مدل سازی فرآیند الکترواکسیداسیون در تصفیه فاضلاب شور

حمزه علی جمالی^{۱*}

کاوس دیندارلو^۲

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، پژوهشکده سلامت، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی در ارتقای سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی در ارتقای سلامت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.

چکیده

هدف: تصفیه زیستی فاضلاب‌های حاوی جامدات محلول بالا، به دلیل غلظت بالای نمک، امکان‌پذیر نیست. یکی از روش‌های تصفیه این گونه فاضلاب‌ها الکترواکسیداسیون می‌باشد. هدف از این مطالعه به کارگیری روش سطح پاسخ در بهینه‌سازی تصفیه فاضلاب‌های شور با استفاده از فرآیند الکترواکسیداسیون بود.

روش‌ها: این مطالعه تجربی در مقیاس پایلوت انجام گردید. نمونه‌ها به صورت سینتتیک و در سطح مورد نیاز فاضلاب‌های شور تهیه گردید. متغیرهای مستقل شامل زمان واکنش، pH، غلظت الکترولیت NaCl و ولتاژ بودند. عملکرد فرآیند براساس پاسخ‌های درصد حذف COD و TOC ارزیابی شد. تعیین تعداد آزمایشات، آنالیز آماری و مدل‌سازی داده‌های آزمایشگاهی و بهینه‌سازی حذف COD و TOC با به کارگیری طرح مرکب مرکزی و روش پاسخ سطح انجام شد.

نتایج: نتایج نشان داد که درصد حذف COD و TOC در شرایط بهینه $pH=8$ ، زمان واکنش ۳۴ دقیقه، مقدار نمک ۲۲/۵ گرم در لیتر و ولتاژ ۷ ولت به ترتیب برابر با ۸۷/۴۸ درصد و ۶۹ درصد بود. میزان مطلوبیت در این شرایط برابر با ۱ بود.

نتیجه‌گیری: الکترواکسیداسیون فرآیندی موثر در کاهش COD و TOC از فاضلاب‌های شور است. اما امکان تولید پسابی با کیفیت مطابق با استانداردهای دفع فاضلاب به محیط زیست نیست. بدین ترتیب، این فرآیند به عنوان تصفیه اولیه این‌گونه فاضلاب‌ها پیشنهاد می‌گردد. طرح مرکب مرکزی و روش پاسخ سطح برای بهینه‌سازی متغیرهای موثر در فرآیند حذف COD و TOC به روش الکترواکسیداسیون مناسب است.

کلیدواژه‌ها: تصفیه فاضلاب، فاضلاب شور، الکترواکسیداسیون، روش سطح پاسخ، مدل‌سازی.

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت مقاله: ۹۸/۰۸/۲۰ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۲/۰۳

ارجاع: جمالی حمزه علی، دیندارلو کاوس. مدل‌سازی فرآیند الکترواکسیداسیون در تصفیه فاضلاب شور. طب پیشگیری. ۱۳۹۹؛ ۲(۲): ۴۰-۵۲.

شوری بالا سبب پلاسمولیز، کاهش فعالیت سلولی و در نهایت مرگ میکروارگانیسم‌های مؤثر در حذف مواد آلی می‌شود (۲، ۴). تحقیقات نشان داده است که مقاومت باکتری‌ها در مقابل شوک‌های ناشی از شوری محدود است و آن‌ها به طور معمول نمی‌توانند بیشتر از ۲۴ ساعت در محیط حاوی نمک طعام با شوری بالاتر از ۴۰ گرم در لیتر زنده بمانند (۳). هنگامی که این نوع فاضلاب‌ها بدون تصفیه به محیط زیست تخلیه شوند، می‌تواند باعث آلودگی شدید خاک و آب‌های

مقدمه

فعالیت‌های صنعتی نه تنها منجر به افزایش آب مصرفی شده، بلکه باعث افزایش آلودگی منابع آب نیز شده است. بسیاری از صنایع مانند صنایع تولید روغن زیتون، بسته‌بندی گوشت، معادن، نفت، پتروشیمی، کشاورزی، مواد غذایی، غذاهای دریایی، کنسرو سبزی، تولید ترشی و پردازش پنیر پساب‌هایی با مقدار زیاد نمک (شوری بالا) که اکثراً دارای ترکیبات آلی مختلف مانند قفل و فلزات سنگین هستند، تولید می‌کنند (۱، ۲).

نویسنده مسئول: حمزه علی جمالی، دکتری تخصصی، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.

0000-0001-9928-0011:ORCID

پست الکترونیکی: jamalisadraei@yahoo.com

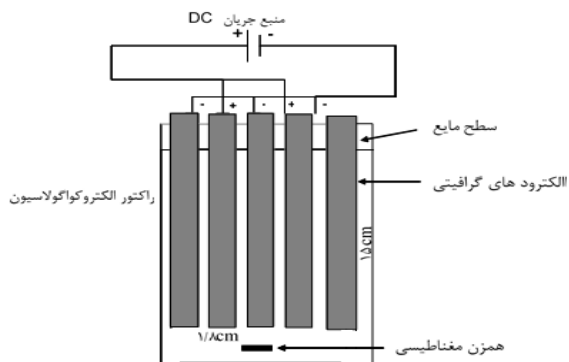
تلفن: ۰۳-۹۸۲۱۳۳۳۳۶۰۰۱

متقابل آن‌ها استفاده نمود. روش سطح پاسخ دارای چهار مرحله اصلی، شامل طراحی آزمایش‌ها، برازش مدل، راستی آزمایی مدل و تعیین شرایط بهینه است. طراحی آزمایش‌ها مثل طرح مرکب مرکزی (Central Composite Design) برای روش سطح پاسخ مفید است. زیرا به تعداد آزمایش‌های کمی نیاز دارد (۱۳). هدف از این مطالعه به کارگیری روش سطح پاسخ در تصفیه فاضلاب شور توسط فرآیند اکسیداسیون الکتروشیمیایی بود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه تجربی جهت تهیه فاضلاب مصنوعی و تامین غلظت نمک مورد نیاز در فرآیند و همچنین غلظت COD در سطح فاضلاب‌های شور از سرم بوبن‌آلبومین و کلرورسدیم استفاده شد (۲،۵). همچنین به منظور تنظیم pH از محلول‌های NI سود و اسیدکلریدریک (Merck) استفاده گردید.

از راکتور ناپیوسته مکعب مستطیلی به ابعاد $14\text{cm} \times 7\text{cm} \times 1\text{cm}$ با حجم مفید یک لیتر استفاده شد. الکترودها از ستون‌های گرافیتی با قطر $1/8\text{cm}$ و طول 10cm بودند که توسط قطعاتی از سیم به یکدیگر متصل و به صورت دو سری از الکترودهای موازی در داخل راکتور قرار گرفتند. هر یک از سری‌های الکترودهای گرافیتی به جریان برق مستقیم وصل گردیدند. جریان الکتریکی توسط مبدل جریان AC/DC (مدل RN-3003D, PAYANNIK) تامین شد. شکل ۱ شماتیک راکتور مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- شماتیک راکتور مورد استفاده

سطحی و زیرزمینی شده و اثر نامطلوبی بر حیات آبزیان و کشاورزی بگذارند (۳).

به کارگیری فرآیندهای تصفیه زیستی برای اینگونه فاضلاب‌ها همواره با مشکلات زیادی همراه بوده است. در فاضلاب‌های حاوی غلظت نمک بالا (بیشتر از ۱ درصد وزنی) به خاطر دهیدراسیون سلول‌های میکروبی در فاضلاب‌های حاوی نمک بالا، امکان تصفیه میکروبی تقریباً وجود ندارد (۵). بنابراین شرط لازم برای تصفیه زیستی فاضلاب‌های شور، حذف نمک از آن‌ها است. معمولاً در سیستم‌های تصفیه فاضلاب به ندرت امکان حذف نمک از فاضلاب وجود دارد.

بعضی از روش‌های تصفیه فیزیکو-شیمیایی به طور معمول مواد آلی و همچنین نمک را از پساب این نوع فاضلاب‌ها حذف می‌کنند. روش‌هایی که به طور عمده در تصفیه این نوع فاضلاب‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند روش‌های تصفیه غشایی از قبیل اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون، اسمز معکوس و روش‌های اکسیداسیون پیشرفته از قبیل الکتروفتون و الکترولیز فتوشیمیایی می‌باشند (۱۰-۵).

فاضلاب‌های با شوری بالا، به دلیل حضور آنیون و کاتیون‌ها همواره دارای خاصیت هدایت الکتریکی نسبتاً بالا هستند. داشتن این ویژگی، دلیل قابل قبولی برای این فاضلاب‌ها به روش الکتروشیمیایی است. این روش در تصفیه فاضلاب صنایع مختلف نظیر نساجی، صنایع تقطیری و فاضلاب شهری به کار رفته است (۲،۱۱).

در روش بهینه‌سازی کلاسیک در یک زمان یک پارامتر تغییر می‌کند، در حالی که سایر پارامترها ثابت نگه داشته می‌شوند. براساس تجربه ثابت شده است که روش کلاسیک، قادر به درک رابطه متقابل پیچیده بین متغیرها و پاسخ‌ها نیست (۱۲). روش سطح پاسخ (Response Surface Methodology) از تکنیک‌های آماری و ریاضی مشتق شده است که می‌توان از آن برای مطالعه اثر فاکتورهای گوناگون در سطوح مختلف و اثرات

بود (۱۵). بنابراین در مجموع تعداد ۲۹ آزمایش (N=۲۹) انجام شد.

برای تعیین مقادیر بهینه متغیرهای مستقل فرآیند، دو متغیر وابسته درصد حذف COD و درصد حذف TOC به عنوان پاسخ مورد تحلیل قرار گرفتند. متغیرهای پاسخ طبق معادله $Y_i = \frac{C_0 - C_t}{C_0} * 100$ محاسبه گردید. Y راندمان حذف هر یک از متغیرهای پاسخ (COD یا TOC) برحسب درصد، C₀ و C_t غلظت اولیه و غلظت باقیمانده هر یک از پاسخ‌ها پس از زمان ماند مورد نظر برحسب mg/L است.

داده‌های تحقیق به وسیله رگرسیون چندگانه آنالیز و مدل درجه دوم $Y = \beta_0 +$ برای پیش‌بینی شرایط بهینه استفاده شد که متغیر Y پاسخ، i ثابت خطی، z ثابت درجه دوم، β ثابت رگرسیون، k تعداد فاکتورهای مورد مطالعه و بهینه شده در آزمایش‌ها و e خطای تصادفی هستند.

برای تحلیل گرافیکی داده‌ها و تعیین اثرات متقابل بین متغیرهای مستقل فرآیند و پاسخ‌ها تحلیل واریانس (ANOVA) و جهت جلوگیری از خطای سیستمیک، آزمایش‌ها به صورت تصادفی انجام شد. مقدار (P-Value < ۰/۰۵) به عنوان سطح معناداری تعیین شد.

کیفیت برازش مدل چند جمله‌ای توسط ضریب تبیین R² و Adj.R² و معناداری آماری با آزمون فیشر در این برنامه کنترل شد. برای بهینه‌سازی فرآیند در این نرم‌افزار یک مدل برای ترکیبی از سطوح فاکتورها که به طور هم‌زمان نیازهای هر یک از پاسخ‌ها و فاکتورها را برآورد نماید، مورد بررسی قرار گرفت. اهداف مطلوب به صورت حداکثر حذف COD و TOC انتخاب شدند. برای تأیید کفایت مدل‌ها و صحت روش بهینه‌سازی، ۵ آزمایش اضافی در شرایط بهینه به دست آمده، انجام شد.

برای سنجش COD از روش رفلکس معکوس و برای سنجش TOC از دستگاه ANATCII (استرالیا) استفاده شد. سایر آزمایش‌های شیمیایی براساس دستورالعمل‌های روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام شد (۱۴).

برای طراحی آماری آزمایش‌ها از روش طرح مرکب مرکزی وجهی (FCCD) و برای آنالیز داده‌ها از روش سطح پاسخ در نرم‌افزار Design Expert7 استفاده شد. در این مطالعه چهار متغیر مستقل (فاکتور) شامل زمان واکنش، pH، غلظت NaCl و ولتاژ بودند. هر یک از این متغیرها در سه سطح کدبندی شده شامل -۱، ۰ و +۱ مورد مطالعه قرار گرفتند. نحوه کدبندی متغیرها طبق معادله $x_i = \frac{X_i - X_0}{\Delta X_i}$ بود که X_i مقدار کدبندی شده متغیر مستقل، X_i مقدار واقعی متغیر مستقل، X₀ مقدار واقعی متغیر مستقل در نقطه مرکزی، ΔX_i مقدار اختلاف بین دو سطح سطوح مطالعه از آزمایشات مقدماتی به دست آمدند. جدول ۱ متغیرهای مستقل مورد مطالعه و دامنه در نظر گرفته شده برای هر یک را نشان می‌دهد.

جدول ۱- متغیرهای مورد مطالعه و سطوح آن‌ها

نام متغیر	واحد سنجش	نماد	سطوح کدگذاری شده
			+۱ ۰ -۱
pH	-	A	۹ ۷ ۵
زمان واکنش	دقیقه	B	۴۵ ۳۰ ۱۵
غلظت نمک	گرم در لیتر	C	۲۰ ۲۰ ۱۰
ولتاژ	ولت	D	۹ ۶ ۳

در این پژوهش طراحی آزمایش بر پایه طراحی فاکتوریال کامل دو سطحی بود که نقاط مرکزی و ستاره‌ای نیز به آن اضافه گردید. تعداد کل آزمایش‌ها (N) طبق معادله $N = N_a + N_0 + N_c$ محاسبه گردید.

که در این معادله N_a تعداد آزمایش‌های دو سطحی در طرح فاکتوریال کامل، N₀ تعداد تکرارها در نقطه مرکزی (۵ تکرار) برای ارزیابی خطای خالص و N_c تعداد نقاط ستاره‌ای (۲*۴)

یافته‌ها

آزمایش درصد حذف COD و TOC به ترتیب ۸۰ درصد و ۶۸ درصد بود که تقریباً بالاترین درصد حذف است. شرایط بهره‌برداری در این آزمایش شامل $pH=7$ زمان واکنش ۳۰ دقیقه، غلظت نمک ۲۰ گرم در لیتر و ولتاژ ۲۰ ولت بود. براساس این نتایج تقریباً درصد حذف COD در این راکتور بالاتر از درصد حذف TOC است. نتایج آزمایش‌های انجام شده با به کارگیری مدل‌های تخمینی متغیرهای وابسته COD (Y1) و TOC (Y2) مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج آزمایش‌ها درباره درصد حذف COD (Y1) و TOC (Y2) در جدول ۱ ارائه شده است. جهت بررسی اثرات فاکتورهای مستقل بر روی پاسخ‌ها، طبق طراحی تحقیق صورت گرفته براساس طرح مرکب مرکزی، تعداد ۲۹ آزمایش در راکتور ناپیوسته انجام شد. راندمان حذف COD و TOC به ترتیب در دامنه ۸۰-۳۵ درصد و ۶۹-۲۷ درصد متغیر بودند. همان گونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، بیشترین درصد حذف در آزمایش شماره ۱۹ به دست آمده است. در این

جدول ۲- طراحی مرکب مرکزی همراه با پاسخ‌های مشاهده شده و پیشبینی شده توسط مدل

شماره آزمایش	متغیرهای مستقل (مقادیر واقعی)			درصد حذف COD		درصد حذف Toc	
	pH	زمان (دقیقه)	میزان شوری (gr/l)	ولتاژ (ولت)	واقعی	پیشبینی شده	واقعی
۱	۹	۳۰	۱۰	۶	۵۶	۵۴/۹۶	۴۰
۲	۷	۱۵	۱۰	۶	۳۵	۳۵	۲۹
۳	۷	۱۵	۳۰	۶	۵۵	۵۲/۳۳	۳۱
۴	۷	۳۰	۳۰	۳	۵۰	۵۱/۷۱	۳۶
۵	۷	۳۰	۲۰	۶	۷۰	۷۸/۶۰	۶۵
۶	۹	۳۰	۲۰	۹	۷۹	۷۷	۵۷
۷	۷	۱۵	۲۰	۳	۵۰	۴۷/۲۹	۲۹
۸	۷	۴۵	۳۰	۶	۷۲	۷۰/۳۳	۵۳
۹	۷	۳۰	۲۰	۶	۷۸	۷۸/۶	۵۹
۱۰	۵	۳۰	۱۰	۶	۵۰	۴۷/۲۹	۲۸
۱۱	۵	۱۵	۲۰	۶	۲۹	۳۲/۱	۲۷
۱۲	۹	۱۵	۲۰	۶	۶۵	۶۵/۸۷	۴۲
۱۳	۹	۳۰	۲۰	۳	۷۰	۷۱	۵۲
۱۴	۵	۴۵	۲۰	۶	۵۸	۵۹/۷۱	۳۷
۱۵	۷	۱۵	۲۰	۹	۴۳	۴۴/۲۹	۲۹
۱۶	۷	۴۵	۲۰	۳	۴۶	۴۳/۷۹	۳۰
۱۷	۹	۳۰	۳۰	۶	۸۷	۸۳/۷۹	۶۳
۱۸	۵	۳۰	۲۰	۹	۶۸	۶۵/۳۳	۵۵
۱۹	۷	۳۰	۲۰	۶	۸۰	۷۸/۶۰	۶۸
۲۰	۷	۴۵	۲۰	۹	۸۰	۸۱/۷۹	۵۸
۲۱	۵	۳۰	۳۰	۶	۵۰	۵۰/۱۳	۳۸
۲۲	۷	۴۵	۱۰	۶	۵۰	۵۱	۳۵
۲۳	۷	۳۰	۱۰	۳	۴۳	۴۴/۸۸	۴۰
۲۴	۹	۴۵	۲۰	۶	۷۳	۷۲/۳۸	۴۲
۲۵	۷	۳۰	۲۰	۶	۸۵	۷۸/۶۰	۶۷
۲۶	۷	۳۰	۲۰	۶	۸۰	۷۸/۶۰	۶۶
۲۷	۷	۳۰	۳۰	۹	۸۰	۸۰/۷۱	۶۱
۲۸	۵	۳۰	۲۰	۳	۳۶	۳۶/۳۳	۲۴
۲۹	۷	۳۰	۱۰	۹	۵۰	۵۰/۸۸	۳۹

جدول مشاهده می‌شود، با توجه به اینکه برای هر دو پاسخ مقدار $P\text{-Value} < 0.0001$ است، بنابراین مدل مرتبه دوم از نظر آماری معنادار است.

جدول ۳ نتایج تحلیل واریانس (ANOVA) رگرسیون پارامترهای سطح پاسخ پیشبینی شده توسط مدل‌های درجه دوم برای COD و TOC را ارائه می‌دهد. همان گونه که در

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس عوامل مدل مرتبه دوم پاسخ سطح در کارایی حذف COD و TOC

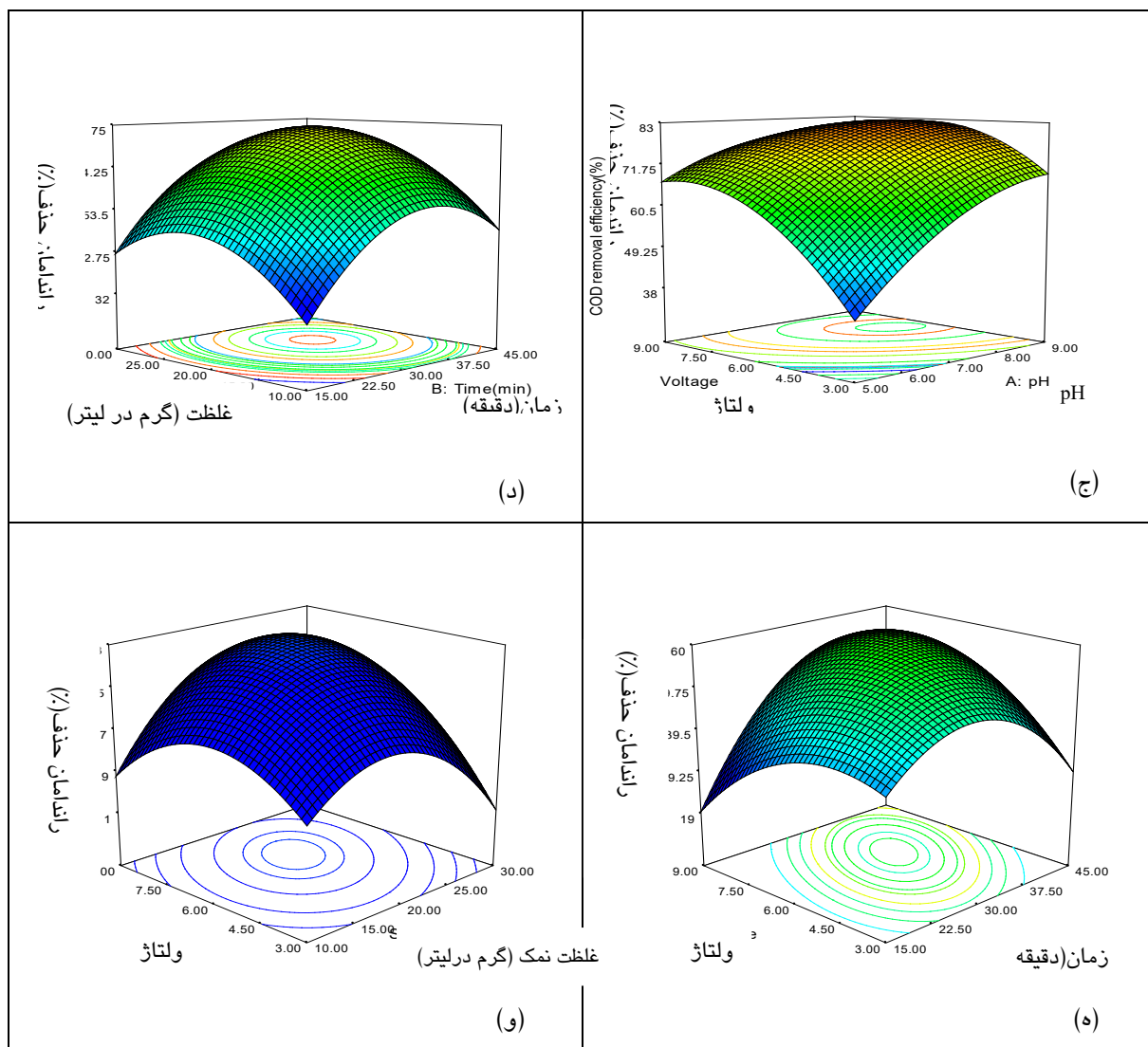
P-Value	F		میانگین مربعات		درجه آزادی	مجموع مربعات		منبع تغییرات	
	TOC	COD	TOC	COD		TOC	COD		
<0.0001	<0.0001	۳۰/۰۴	۳۹/۳۶	۴۸۴/۵۳	۵۴۲/۹۹	۱۴	۴۸۳۴/۵۳	۷۶۰۱/۸۵	مدل
<0.0001	<0.0001	۳۲/۵۵	۱۱۶/۷۲	۳۷۴/۰۸	۱۶۱۰/۰۸	۱	۳۷۴/۰۸	۱۶۱۰/۰۸	(A)pH
۰/۰۰۰۲	<0.0001	۲۴/۳۹	۶۲/۸۵	۲۸۰/۳۳	۸۷	۱	۲۸۰/۳۳	۸۷	زمان واکنش (B)
۰/۰۰۰۱	<0.0001	۳۷/۹۸	۷۳/۱۰	۳۱۰/۰۸	۱۰۰۸/۳۳	۱	۳۱۰/۰۸	۱۰۰۸/۳۳	غلظت نمک (C)
<0.0001	<0.0001	۵۶/۱۵	۶۶/۷۰	۶۴۵/۳۳	۹۱۸/۷۵	۱	۶۴۵/۳۳	۹۱۸/۷۵	ولتاژ (D)
۰/۱۶	۰/۰۱۳۴	۲/۱۸	۷/۹۹	۲۵	۱۱۰/۲۵	۱	۲۵	۱۱۰/۲۵	اثرات متقابل A.B
۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۰۹	۱۱/۵۱	۱۷/۴۲	۱۳۲/۲۵	۲۴۰/۲۵	۱	۱۳۲/۲۵	۲۴۰/۲۵	اثرات متقابل A.C
۰/۰۳۳۳	۰/۰۰۷۹	۵/۵۷	۹/۵۹	۶۴	۱۳۲/۲۵	۱	۶۴	۱۳۲/۲۵	اثرات متقابل A.D
۰/۰۳۳۳	۰/۸۹۱۷	۵/۵۷	۰/۷۲	۶۴	۱	۱	۶۴	۱	B.C
۰/۰۱۹	<0.0001	۷/۰۵	۳۰/۴۷	۸۱	۴۲۰/۲۵	۱	۸۱	۴۲۰/۲۵	اثرات متقابل B.D
۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۷۹	۱۴/۷	۵/۵۹	۱۶۹	۱۳۲/۲۵	۱	۱۶۹	۱۳۲/۲۵	اثرات متقابل C.D
<0.0001	۰/۰۰۰۶	۴۳/۲۱	۱۹/۶۶	۴۹۶/۶۲	۳۷۱/۲۵	۱	۴۹۶/۶۲	۳۷۱/۲۵	اثرات درجه دوم A2
<0.0001	<0.0001	۱۸۰/۳۱	۱۰۰/۱۲	۲۰۷۲/۵۳	۱۳۶۱/۰۷	۱	۲۰۷۲/۵۳	۱۳۶۱/۰۷	اثرات درجه دوم B2
<0.0001	<0.0001	۷۴/۶۳	۶۵/۹۴	۸۵۷/۸۴	۹۰۹/۵۷	۱	۸۵۷/۸۴	۹۰۹/۵۷	اثرات درجه دوم C2
<0.0001	<0.0001	۳۷/۲۵	۴۴/۴	۴۲۸/۲۱	۶۱۲/۴۱	۱	۴۲۸/۲۱	۶۱۲/۴۱	اثرات درجه دوم D2
		-		۱۱/۴۹	۱۳/۷۹	۱۴	۱۶۰/۹۲	۱۹۳/۱۲	باقیمانده
۰/۶۰۳۷	۰/۹۶۶۴	۰/۸۹	۰/۲۵	۱۱/۹۲	۷/۳۹	۱۰	۱۱۰/۹۲	۷۳/۹۲	نقص برازش
		-		۱۲/۵۰	۲۹/۸۰	۴	۵۰	۱۱۹/۲	خطای خالص
		-				۲۸	۴۹۹۵/۴۵	۷۳۹۴/۹۹	خطای کل

پراکنش مقادیر واقعی در مقابل مقادیر پیشبینی شده حذف COD و TOC نشان داد که نقاط روی یک خط نسبتاً مستقیم می‌باشند که حاکی از ثابت بودن واریانس است. برای بررسی اثرات متقابل متغیرها، با نگر داشتن دو متغیر مستقل در مقادیر بهینه بدست آمده از بهینه‌سازی اثرات متقابل دو متغیر دیگر بصورت سطح پاسخ رسم گردید که در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همچنین واکنش متقابل بین چهار متغیر مستقل و متغیرهای وابسته (پاسخ) را می‌توان بر مبنای معادلات رگرسیون نیز مورد بررسی قرار داد.

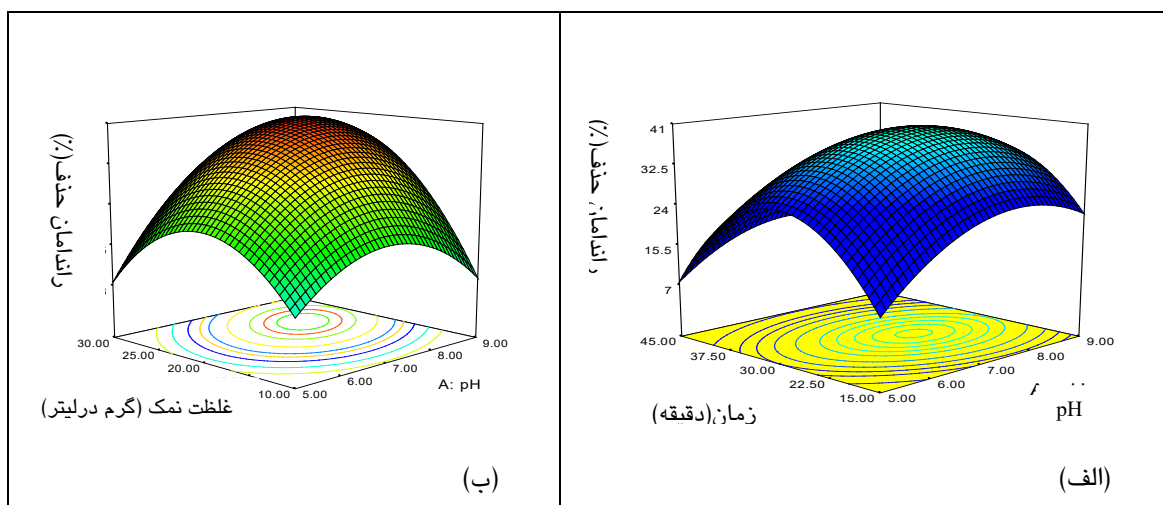
مدل توصیه شده برای متغیرهای وابسته توسط نرم‌افزار، مدل مرتبه دوم بود. در این مدل‌ها کلیه واژه‌ها معنادار نبودند. پس از حذف واژه‌هایی که از نظر آماری معنادار نبودند، مدل‌های اصلاحی بصورت معادلات زیر بودند. در این معادلات واژه‌ها بصورت کدگذاری شده هستند.

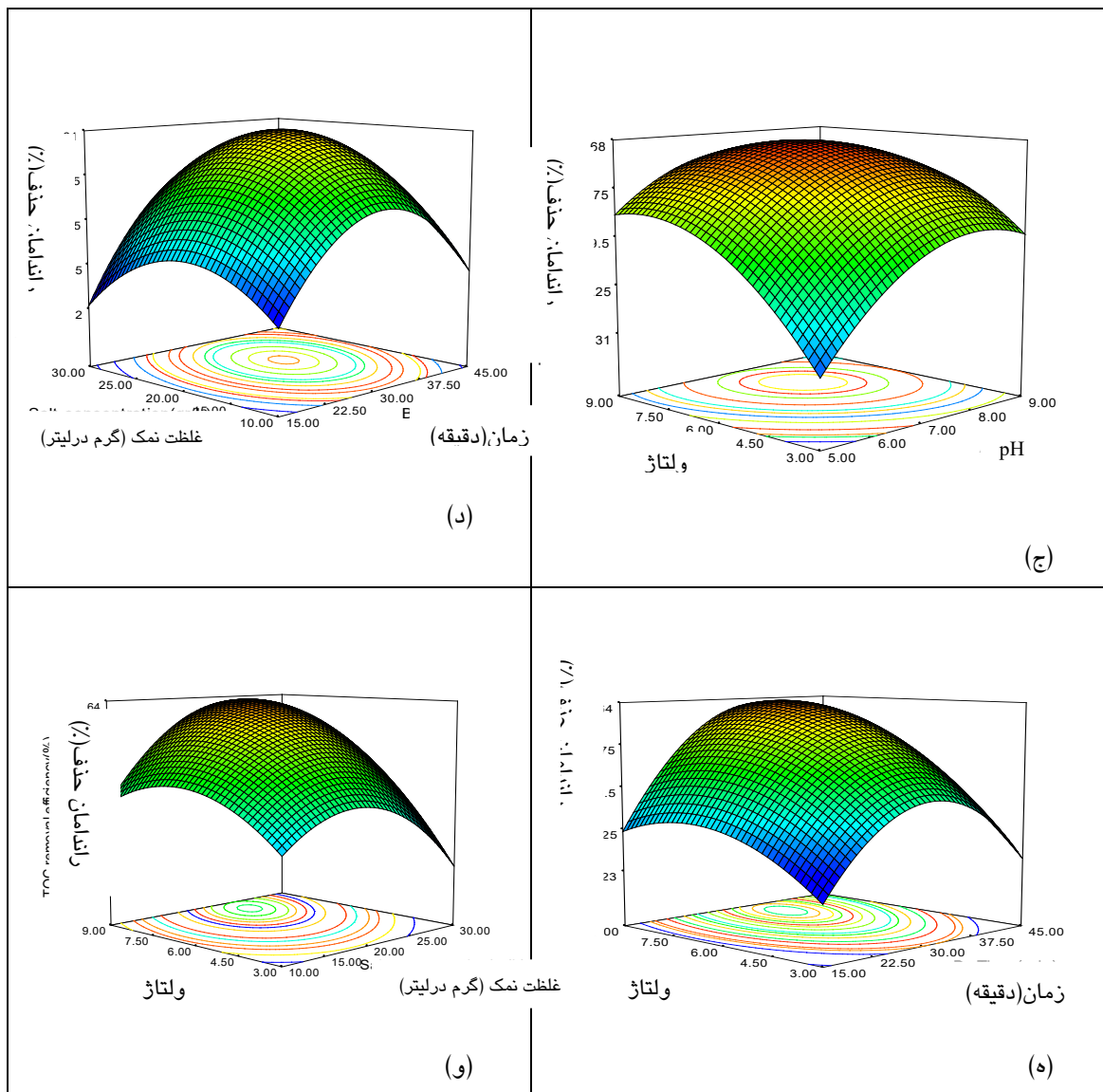
$$Y1 = 78.6 + 11.08A + 1.0B + 9.17C + 1.70D - 0.20AB + 7.70AC - 0.70AD + 0.05BC + 1.02BD + 0.70CD - 7.47A^2 - 1.409B^2 - 11.84C^2 - 9.72D^2$$

$$Y2 = 65.05 + 0.88A + 4.82B + 0.08C + 7.22D + 0.70AC - 4AD + 4BC + 4.0BD + 7.0CD - 1.70A^2 - 1.70B^2 - 1.10C^2 - 1.12D^2$$



شکل ۲- نمودار سطح پاسخ اثرات متقابل متغیرهای مستقل روی حذف COD





شکل ۳- نمودار سطح پاسخ اثرات متقابل متغیرهای مستقل روی حذف TOC

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل واریانس نشان‌دهنده این است که مدل‌های درجه دوم آماری به دست آمده برای حذف COD و TOC معنادار هستند ($P\text{-Value} < 0.0001$). همچنین تمام واژه‌های خطی، درجه دوم و اثرات متقابل در هر دو مدل معنادار هستند. دقت کافی که در جدول ۲ نشان داده شده است، شاخص سنجش "نسبت سیگنال به نویز" است. به عبارت دیگر، دقت کافی، دامنه مقادیر پیشبینی شده در نقاط طراحی را با متوسط خطای پیشبینی مقایسه می‌نماید. نسبت های بالاتر از ۴

جدول ۴ نتایج آزمایشات انجام شده در نقطه بهینه پیشبینی شده توسط مدل درجه دوم پیشنهادی را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌گردد، میزان خطا و انحراف معیار نتایج حاصله از آنالیز آزمایشگاهی پیشبینی شده بسیار پایین است.

جدول ۴- تایید نتایج پیشبینی شده توسط مدل در شرایط بهینه

پاسخ‌ها (درصد حذف)		
TOC	COD	
۶۹	۸۸/۵	نتایج آزمایشگاهی
۶۷/۵	۸۶/۶	پاسخ مدل
۱/۵	۱/۹	خطا
±۰/۶۵	±۰/۸	انحراف معیار

نتایج تحلیل واریانس نشان‌دهنده این است که مدل‌های درجه دوم آماری به دست آمده برای حذف COD و TOC معنادار هستند ($P\text{-Value} < 0.001$). همچنین تمام واژه‌های خطی، درجه دوم و اثرات متقابل در هر دو مدل معنادار هستند. دقت کافی که در جدول ۲ نشان داده شده است، شاخص سنجش "نسبت سیگنال به نویز" است. به عبارت دیگر، دقت کافی، دامنه مقادیر پیشبینی شده در نقاط طراحی را با متوسط خطای پیشبینی مقایسه می‌نماید. نسبت‌های بالاتر از ۴ نشان‌دهنده کفایت سیگنال برای مدل‌ها جهت تعیین فضای طراحی است که در این مطالعه برای حذف COD و TOC به ترتیب برابر با ۲۱/۱۸ و ۱۶/۲۱ است که نشان‌دهنده وجود سیگنال کافی و توان بالای مدل‌ها در پیشبینی نتایج است. آزمون ضعف برازش، تغییرات داده‌ها را حول مدل برازش داده شده توصیف می‌نماید. اگر مدل به خوبی برازش شده باشد، این آزمون معنادار نیست (۱۶). مقادیر آزمون ضعف برازش مربوط به مدل مرتبه دوم برای پاسخ‌های حذف COD و TOC به ترتیب برابر با ۰/۹۶۶۴ و ۰/۶۰۲۷ است. ضریب تبیین (R^2) که نسبت کل تغییرات پاسخ پیشبینی شده توسط مدل را ارائه می‌دهد، نشان‌دهنده نسبت مجموع مربعات ناشی از رگرسیون (SSR) به کل مجموع مربعات (SST) است. بزرگ بودن R^2 و نزدیک بودن آن به ۱ مطلوب بوده و یک توافق مطلوب با R^2 تعدیل یافته ($Adj.R^2$) است (۱۷، ۱۸). کیفیت برازش مدل چند جمله‌ای درجه دوم با R^2 بیان می‌شود. در این مطالعه، ضریب R^2 برای حذف COD و TOC، ۰/۹۷۵۲ و ۰/۹۶۷۸ و ضریب $Adj.R^2$ به ترتیب ۰/۹۵۰۵ و ۰/۹۳۵۶ بود که همه موارد مقادیر R^2 بالاتر از ۰/۸ است. بشیر و همکاران گزارش نمودند که مقادیر R^2 بالا نشان‌دهنده توافق بالای داده‌های آزمایشگاهی با داده‌های برآورد شده توسط مدل است (۱۹). بنابراین مقادیر بالای R^2 و توافق خوب آن با $Adj.R^2$ در این مطالعه، نشان‌دهنده کفایت مدل در پیشبینی نتایج است. همچنین مدل را می‌توان با استفاده از نمودارهای تشخیصی از قبیل نمودار توزیع احتمال نرمال باقیمانده‌ها، نمودار مقادیر پیشبینی شده در مقابل مقادیر واقعی نیز مورد ارزیابی قرار داد. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی خوبی بین مقادیر پیشبینی شده با مقادیر واقعی در مورد حذف COD و TOC وجود دارد که تاییدکننده کفایت مدل‌ها در پیشبینی حذف این دو شاخص آلاینده‌گی است.

نشان‌دهنده کفایت سیگنال برای مدل‌ها جهت تعیین فضای طراحی است که در این مطالعه برای حذف COD و TOC به ترتیب برابر با ۲۱/۱۸ و ۱۶/۲۱ است که نشان‌دهنده وجود سیگنال کافی و توان بالای مدل‌ها در پیشبینی نتایج است (۱۶). آزمون ضعف برازش، تغییرات داده‌ها را حول مدل برازش داده شده توصیف می‌نماید. اگر مدل به خوبی برازش شده باشد، این آزمون معنادار نیست (۱۶). مقادیر آزمون ضعف برازش مربوط به مدل مرتبه دوم برازش یافته برای پاسخ‌های حذف COD و TOC به ترتیب برابر با ۰/۹۶۶۴ و ۰/۶۰۲۷ است که تاییدکننده برازش خوب داده‌ها بر مدل به دست آمده است. ضریب تبیین (R^2) که نسبت کل تغییرات پاسخ پیشبینی شده توسط مدل را ارائه می‌دهد، نشان‌دهنده نسبت مجموع مربعات ناشی از رگرسیون (SSR) به کل مجموع مربعات (SST) است. بزرگ بودن R^2 و نزدیک بودن آن به ۱ مطلوب بوده و یک توافق مطلوب با R^2 تعدیل یافته ($Adj.R^2$) ضروری است (۱۷، ۱۸). کیفیت برازش مدل چند جمله‌ای درجه دوم با R^2 بیان می‌شود. در این مطالعه، ضریب R^2 برای حذف COD و TOC، ۰/۹۷۵۲ و ۰/۹۶۷۸ و ضریب $Adj.R^2$ به ترتیب ۰/۹۵۰۵ و ۰/۹۳۵۶ بود که همه موارد مقادیر R^2 بالاتر از ۰/۸ است. بشیر و همکاران گزارش نمودند که مقادیر R^2 بالا نشان‌دهنده توافق بالای داده‌های آزمایشگاهی با داده‌های برآورد شده توسط مدل است (۱۹). بنابراین مقادیر بالای R^2 و توافق خوب آن با $Adj.R^2$ در این مطالعه، نشان‌دهنده کفایت مدل در پیشبینی نتایج است. همچنین مدل را می‌توان با استفاده از نمودارهای تشخیصی از قبیل نمودار توزیع احتمال نرمال باقیمانده‌ها، نمودار مقادیر پیشبینی شده در مقابل مقادیر واقعی نیز مورد ارزیابی قرار داد. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی خوبی بین مقادیر پیشبینی شده با مقادیر واقعی در مورد حذف COD و TOC وجود دارد که تاییدکننده کفایت مدل‌ها در پیشبینی حذف این دو شاخص آلاینده‌گی است.

COD در دامنه تغییرات دو متغیر مستقل دارای نقاط هم مرکز و یک قله می باشد که نشان دهنده رسیدن به نقطه بهینه است. نتایج تحقیق Kumar و همکارانش روی تصفیه نیتروفلن با استفاده از فرآیند الکترواکسیداسیون نشان داد که pH نقش مهمی در تجزیه مواد آلی دارد. همچنین گزارش نمودند که با افزایش pH از ۲/۵ تا ۵/۵، به دلیل افزایش رادیکال OH[•] در محیط واکنش، درصد حذف TOC و COD افزایش می یابد طوری که در pH بهینه ۵/۵، درصد حذف COD و TOC به ترتیب ۹۶ درصد و ۸۲ درصد بود. این راندمان تا pH=7 ثابت ماند (۲۰). در مورد تاثیر pH روی تجزیه ترکیبات آلی آروماتیک توسط فرآیندهای الکترولیز گزارش های متعددی اعلام شده است. بعضی از محققین هر دو شرایط اسیدی و قلیایی را برای تجزیه مواد آلی آروماتیک مناسب اعلام نموده اند (۱۹). در حالی که برخی دیگر، شرایط خنثی را برای تجزیه مواد آلی مطلوب اعلام نموده اند. نتایج تحقیق اریسم و همکاران نشان داد که pH اسیدی برای حذف آلاینده ها از فاضلاب غلیظ صنایع تقطیری توسط فرآیند الکترواکسیداسیون با استفاده از الکتروده با قطب کاتد Ti/RuO₂ و آند مرکب از گرافیت و تیتانیم با درصد بالایی عمل می کند به گونه ای که راندمان حذف COD و رنگ در شرایط اسیدی به ترتیب ۸۹/۶۲ درصد و ۹۲/۲۴ درصد گزارش گردید (۲۰). در این تحقیق بالاترین درصد حذف شاخص های مورد بررسی در ۳۰ دقیقه اول حاصل گردید. نتایج مطالعه ای که روی اکسیداسیون آمونیاک در فاضلاب توسط فرآیند الکترواکسیداسیون انجام شد، نشان داد که pH تاثیری در فرآیند اکسیداسیون ندارد. همچنین زمان ماند بهینه برای کاهش COD، ۳۰ دقیقه گزارش شد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (۱۸). مطابق مطالعه انجام شده، زمان های واکنش بالاتر، درصد حذف پایین تری دارند که ممکن است ناشی از ترسیب هیدروکسیدهای فلزی در سطح الکترودها باشد (۲۱).

همچنین کفایت مدل را می توان با استفاده از نمودارهای تشخیصی از قبیل نمودار توزیع احتمال نرمال باقیمانده ها، نمودار مقادیر پیش بینی شده در مقابل مقادیر واقعی نیز مورد ارزیابی قرار داد. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی خوبی بین مقادیر پیش بینی شده با مقادیر واقعی در مورد حذف COD و TOC وجود دارد که تاییدکننده کفایت مدل ها در پیش بینی حذف این دو شاخص آلاینده است.

برای رسیدن به حداکثر درصد حذف COD و TOC با استفاده از مدل های اصلاحی ۵ و ۶، متغیرهای مستقل بهره برداری بهینه سازی شدند. برای انجام این کار، بهینه سازی عددی انجام شد. بدین صورت که در نرم افزار، درصد حذف COD و TOC در حالت "Maximum" و چهار متغیر مستقل شامل زمان واکنش، pH، مقدار نمک و ولتاژ در حالت "In Range" انتخاب شدند. در این حالت، شرایط بهینه متغیرهای مستقل بصورت، pH=۸، زمان واکنش ۳۴ دقیقه، مقدار نمک ۲۳/۵ گرم در لیتر و ولتاژ ۷ ولت به دست آمد. در این شرایط، میزان رضایت مندی برابر با ۱ و درصد حذف COD و TOC به ترتیب برابر با ۸۷/۴۸ درصد و ۶۹ درصد بود. همچنین نتایج راستی آزمایی مدل نشان داد که درصد های حذف به دست آمده از انجام آزمایش ها و پیش بینی شده توسط مدل ها، برای هر دو پاسخ، توافق نزدیکی با هم دارند که تاییدکننده صحت نتایج بدست آمده توسط مدل ها است.

همانگونه که در شکل های ۲ (الف) و ۳ (الف)، مشاهده می گردد با ثابت نگه داشتن ولتاژ و غلظت نمک، با افزایش زمان ماند و pH درصد حذف COD و TOC افزایش می یابد. اما این روند افزایش برای pH حدود ۸ پیش می رود و پس از آن میزان حذف، روند کاهشی دارد. در خصوص زمان واکنش نیز روند تغییرات همین گونه است. به طوری که در زمان ماند حدود ۳۰ دقیقه حداکثر درصد حذف مشاهده می گردد و پس از این نقطه، روند کاهش COD به وقوع می پیوندد. تغییرات میزان حذف

یون کلرور یک پارامتر مهم در ارزیابی کیفیت فاضلاب است. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که اضافه کردن ۵ میلی گرم در لیتر یون کلرور در کاهش COD این نوع فاضلاب به روش الکترواکسیداسیون تاثیر معناداری دارد (۲۳). Xue و Bhatti از فرآیند الکترواکسیداسیون برای تجزیه پرفلویورواکتانویک اسید در غلظت ۱۰۰ میکرومتر در لیتر استفاده نمودند. بالاترین درصد حذف در ولتاژ ۴-۳/۵ ولت به دست آمد. با توجه به اینکه در این مطالعه مقدار بهینه ولتاژ ۷ ولت به دست آمد، این اختلاف ممکن است ناشی از غلظت پایین پرفلویورواکتانویک اسید باشد. همچنین با توجه به اینکه در ولتاژهای بالاتر از ۴ مطالعه نشده است، بنابراین نمی‌توان در مورد این اختلاف ولتاژ قضاوت نمود (۲۱، ۲۴). Zhuo و همکارانش نیز ولتاژ ۳/۳۷ را برای تجزیه پرفلویورواکتانویک اسید گزارش نموده‌اند که ولتاژ گزارش شده با نتایج این تحقیق اختلاف دارد (۲۵).

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که فرآیند الکترواکسیداسیون در کاهش بار آلی فاضلاب‌های شور که امکان به کارگیری فرآیندهای زیستی وجود ندارد، به عنوان یک گزینه مناسب است. این فرآیند نیاز به انرژی الکتریکی دارد که بایستی در ارزیابی‌های اقتصادی مدنظر قرار گیرد. با توجه به راندمان حذف بار آلی، ممکن است این فرآیند به تنهایی قادر به تولید پسابی با کیفیت مطابق با استانداردهای رفع پساب به محیط زیست نباشد، اما به عنوان یک واحد تصفیه اولیه یا تصفیه تکمیلی مناسب است. طرح مرکب مرکزی و روش سطح پاسخ روش مناسبی برای طراحی تحقیق و بررسی روابط بین متغیرهای مختلف و اثرات آن‌ها بر روی راندمان حذف مواد آلی است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان بخاطر همکاری

همان گونه که در شکل‌های ۲ (ب) و ۳ (ب) ملاحظه می‌گردد، با افزایش pH درصد حذف COD افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت نمک، درصد حذف COD افزایش می‌یابد. دلیل این اتفاق، اکسیداسیون غیرمستقیم ناشی از تولید کلر یا هیپوکلریت در اثر فرآیند الکترولیز NaCl در حال انجام در راکتور است که همراه با رادیکال هیدروکسیل تولیدی باعث تجزیه مواد آلی می‌گردند (۲۲).

نمودار واکنش متقابل متغیرهای pH و ولتاژ نشان می‌دهد که با افزایش ولتاژ، راندمان حذف COD و TOC افزایش می‌یابد و تا ولتاژ ۶، روند حذف آلاینده‌های ذکر شده به صورت صعودی است. اما پس از این نقطه، روند حذف نزولی می‌گردد. یکی از دلایل این امر ممکن است ناشی از اثرات ولتاژ بالا و ترسیب هیدروکسیدهای فلزی بر سطح الکترودها باشد (۲۱). در خصوص pH نیز با افزایش pH درصد حذف روند افزایشی دارد. اما پس از pH=۸ روند حذف، کاهشی می‌گردد.

همچنین با افزایش زمان واکنش و غلظت نمک، راندمان حذف COD روند افزایشی دارد. اما همانگونه که در شکل ۲ (د) مشاهده می‌گردد، پس از مدت زمان ۳۰ دقیقه و غلظت نمک ۲۷ گرم در لیتر روند حذف COD کاهش می‌یابد که ممکن است به دلیل غلظت بالای نمک، قسمتی از گاز کلر به وجود آمده همراه با سایر گازها راکتور را ترک نموده و بدین ترتیب درصد حذف کاهش یابد.

در طی تصفیه الکتروشیمیایی، ترکیباتی از قبیل هیپوکلریت، یون کلراید، گاز کلر و کلرات به وجود می‌آیند. در این تحقیق pH مناسب قلیایی بود. در محیط قلیایی گاز کلر تولید شده در سطح آند، به یون هیپوکلریت هیدرولیز می‌گردد. سپس مواد آلی توسط یون هیپوکلریت اکسیداسیون غیرمستقیم می‌گردند.

به علاوه در شرایط قلیایی گاز کلر تولیدی غالباً به هیپوکلریت تبدیل می‌گردد که از شکل‌گیری ترکیبات سمی کلردار جلوگیری می‌گردد (۲۲). Sinan و همکاران گزارش نمودند که

کاووس دیندارلو (نویسنده اول) طراحی مطالعه، بررسی و تأیید نسخه اصلی مقاله ۵۰ درصد؛ حمزه‌علی جمالی (نویسنده دوم و مسئول) نگارش مقاله و تفسیر و تحلیل داده‌ها ۵۰ درصد.

حمایت مالی

این مقاله با حمایت مالی معاونت تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان انجام شده است.

صمیمانه و تامین مالی طرح تحقیقاتی تشکر و قدردانی نمایند.

تأییدیه اخلاقی

این مطالعه دارای تأییدیه اخلاقی به شماره ۹۲۶۹ مورخه ۹۲/۱۰/۹ از دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان است.

تضاد منافع

نویسندگان هیچگونه تضاد منافی ندارند.

سهم نویسندگان

References

- Moussavi G, Barikbin B, Mahmoudi M. The removal of high concentrations of phenol from saline wastewater using aerobic granular SBR. *Chem Eng J*. 2010; 158(3):498-504. DOI: 10.1016/j.cej.2010.01.038
- Kabdash I, Arslan-Alaton I, Ölmez-Hancı T, Tünay O. Electrocoagulation applications for industrial wastewaters: A critical review. *Environ Technol*. 2012; 1(1):2-45. DOI: 10.1080/21622515.2012.715390
- Irena M. Advanced electrochemical technologies in wastewater treatment part I: Electrocoagulation. *ASRJETS*. 2015; 14(2): 233-57.
- Tahery EHM, Amin MM, Farokhzadeh H, Hatamzadeh M, Vahid Dastjerdi M. Aerobic Granulation in Sequencing Batch Reactor (SBR) for saline wastewater treatment. *IJHE*. 2012; 5(1):29-40.
- Sundarapandiyam S, Chandrasekar R, Ramanaiah B, Krishnan S, Saravanan P. Electrochemical oxidation and reuse of tannery saline wastewater. *J Hazard Mater*. 2010; 180(1-3):197-203. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.04.013
- Ghadhban MY, Majdi HS, Rashid KT, Alsahly QF, Lakshmi DS, Salih IK, et al. removal of dye from a leather tanning factory by flat-sheet blend ultrafiltration (UF) membrane. *Membranes (Basel)*. 2020; 10(3):E47. DOI: 10.3390/membranes10030047
- Krešimir K, Davor D, Tea S. Treatment of landfill leachate by membrane processes of nanofiltration and reverse osmosis. *Desalination Water Treat*. 2015; 55(10):1-14. DOI: 10.1080/19443994.2014.939863.8.
- Anastasios IZ, Efrosyni NP, Anastasia N. Treatment of tannery wastewater with vibratory shear-enhanced processing membrane filtration. *Separations*. 2019; 6(20):1-18. DOI: 10.3390/separations6020020
- Moura RCA, Bertuo DA, Ferreira CA, Franco Amado DR. Study of chromium removal by the electrodialysis of tannery and metal-finishing effluents. *International Journal of Chemical Engineering*. 2012; Article ID 179312. DOI: 10.1155/2012/179312
- Luigi G, Alessandro T, Andrea C, Giorgio M. Electrodialysis applications in wastewater treatment for environmental protection and resources recovery: A systematic review on progress and perspectives. *Membranes (Basel)*. 2020; 10(7):146. DOI: 10.3390/membranes10070146
- Rajkumar K., Muthukumar M. Response surface optimization of electro-oxidation process for the treatment of C.I reactive yellow 186 dye: Reaction pathways. *Appl Water Sci*. 2017; 7: 637-52. DOI: 10.1007/s13201-015-0276-0
- Yuliwati E, Ismail AF, Lau WJ, Ng BC, Mataram A, Kassim MA. Effects of process

- conditions in submerged ultrafiltration for refinery wastewater treatment: Optimization of operating process by response surface methodology. *Desalination*. 2012; 287:350-61. DOI: 10.1016/j.desal.2011.08.051
13. Doosti F, Ghanbari R, Jamali H. A , Karyab H. Optimization of fenton process for olive mill wastewater treatment using response surface methodology. *Fresenius Environ Bull*. 2017; 26(10):5942-53.
 14. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association: Washington DC; 2005.
 15. Moradnia M, Panahifard M, Dindarloo K, Jamali HA. Optimizing potassium ferrate for textile wastewater treatment by RSM. *Environ health eng manag*. 2016; 3(3):137-44. DOI: 10.15171/EHEM.2016.12
 16. Jamali HA, Hosseini C, Shirzad Siboni M, Pourvakhshoori N, Poursadeghian M, Farokhi M. Application of ZnO-Fe₃O₄ nano composite on the phosphate removal from aqueous solutions: Optimization and statistical modeling. *Oriental Journal of Chemistry*. 2017; 33(4):1744-55. DOI: 10.13005/ojc/330419
 17. Jamali HA, Dindarloo K, Jabbari R. Optimization of fluoride in water using alum with response surface methodology. *HMJ*. 2016; 19(5):355-64.
 18. Emamjomeh MM, Jamali HA, Moradnia M. Optimization of nitrate removal efficiency and energy consumption using a batch monopolar electrocoagulation: Prediction by RSM method. *J Environ Eng (New York)*. 2017; 143(7):1-8. DOI: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001210
 19. Bashir MJ, Aziz HA, Yusoff MS, Adlan MN. Application of response surface methodology (RSM) for optimization of ammoniacal nitrogen removal from semi-aerobic landfill leachate using ion exchange resin. *Desalination*. 2010; 254(1):154-61. DOI: 10.1016/j.desal.2009.12.002
 20. Kumar S, Singh S, Srivastava VC. Electro-oxidation of nitrophenol by ruthenium oxide coated titanium electrode: Parametric, kinetic and mechanistic study. *Chem Eng J*. 2015; 263:135-43. DOI: 10.1016/j.cej.2014.11.051
 21. Bhatti MS, Reddy AS, Thukral AK. Electrocoagulation removal of Cr (VI) from simulated wastewater using response surface methodology. *J Hazard Mater*. 2009; 172(2-3):839-46. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.07.072
 22. Un UT, Altay U, Koparal AS, Ogutveren UB. Complete treatment of olive mill wastewaters by electrooxidation. *Chem Eng J*. 2008; 139(3):445-52. DOI: 10.1016/j.cej.2007.08.009
 23. Sinan K, Recep B, Alper EY, Baybars AF. Treatment of Olive Mill Wastewater with Electro-Oxidation Method. *JES*. 2015; 162(8):41-7. DOI: 10.1149/2.0451508jes
 24. Xue A, Yuan Z-W, Sun Y, Cao A-Y, Zhao H-Z. Electro-oxidation of perfluorooctanoic acid by carbon nanotube sponge anode and the mechanism. *Chemosphere*. 2015; 141:120-6. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.06.095
 25. Zhuo Q, Deng S, Yang B, Huang J, Yu G. Efficient electrochemical oxidation of perfluorooctanoate using a Ti/SnO₂-Sb-Bi anode. *Environ Sci Technol*. 2011; 45(7):2973-9. DOI: 10.1021/es1024542

Modeling of electro-oxidation process in saline wastewater treatment

Kavoos Dindarloo¹Hamzeh Ali Jamali^{2*}

1. Department of Environmental Health, Social Determinants on Health Promotion Research Center, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran.
2. Department of Environmental Health, Social Determinants on Health Promotion Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.

ABSTRACT

Introduction: Biological treatment of wastewater containing high dissolved solids, because of the high concentration of salt, is not possible. A method for treating this type of wastewater is electro-oxidation process. The aim of this study was application of response surface methodology to optimize the saline wastewater treatment using electro-oxidation process.

Methods: This experimental study was conducted in a pilot scale. The samples were prepared synthetically at the required level of saline wastewater. The independent variables were reaction time, pH, electrolyte concentration, and cell voltage. The process performance was evaluated based on COD and TOC removal efficiencies. The determination of the number of experiments, statistical analysis and modeling of laboratory data, and optimization of COD and TOC removal were performed using the central composite design and surface response method.

Results: The results showed that the removal efficiencies of COD and TOC at the optimum conditions of pH=8, reaction time= 34 min, salt concentration= 23.5 gr/l, and voltage= 7 V were 88.48% and 69% respectively. In these conditions, the desirability of the model was 1.

Conclusion: Electro-oxidation was an effective process for COD and TOC removal, but not enough to produce effluents which meet the environmental standards. Therefore, this process is proposed for pretreatment of saline waste water. In addition, central composite design and response surface methodology were appropriate to optimize the variables affecting COD and TOC removal process using electro-oxidation.

Key Words: Wastewater Treatment, Saline Wastewater, Electro-Oxidation, Response Surface Methodology, Modeling.

Original Article

Received: 5 Apr 2020

Accepted: 16 Jun 2020

Citation: Dindarloo K, Jamali HA. Modeling of electro-oxidation process in saline wastewater treatment. *JPM*. 2020; 7(2):40-52.

Correspondence: PhD, Department of Environmental Health, Social Determinants on Health Promotion Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.

Tel: +989123819051

Email: jamalisadraei@yahoo.com

ORCID: 0000-0001-9928-0011